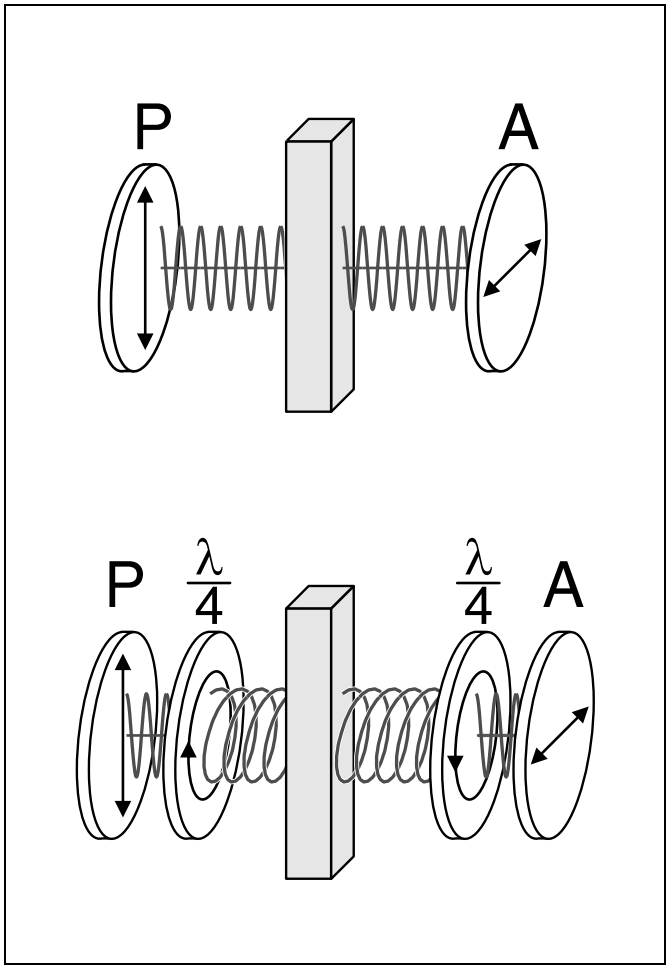
Photoélasticité: Etude des répartitions de tension dans des corps soumis à une charge mécanique

Objectif expérimental

- Etude des répartitions de tension dans des corps soumis à une charge mécanique avec de la lumière polarisée linéairement ou circulairement

Principes de base

En photoélasticité, la valeur et la direction des tensions mécaniques sont déterminées dans des modèles en plastique dans le but de pouvoir ainsi émettre des affirmations sur la capacité de charge de composants compliqués. On se sert de plastiques transparents qui deviennent optiquement biréfringents sous l'action d'une charge mécanique. Pour des raisons de symétrie, l'axe optique de la biréfringence est respectivement en direction de l'allongement ou du refoulement, ceci étant la raison pour laquelle on peut visualiser les contraintes dans un modèle avec des méthodes du domaine de l'optique de polarisation.



La biréfringence, plus précisément la différence entre les indices de réfraction pour le faisceau ordinaire et le faisceau extraordinaire est de

$$n_2 - n_1 = C \cdot (\sigma_2 - \sigma_1). \qquad \text{(I)}$$

avec C étant la constante photoélastique du plastique et σ_1 et σ_2 les tensions principales suscitées par la charge. La biréfringence mécanique n'est pas très grande, elle atteint suivant le matériau des valeurs allant jusqu'à $n_2 - n_1 = 0{,}002$.

*Eclairage avec de la lumière polarisée linéairement***:**

On éclaire le modèle en plastique p. ex. dans un dispositif constitué d'un polariseur croisé et d'un analyseur. Tant qu'il n'est soumis à aucune charge, le champ visuel reste sombre derrière l'analyseur étant donné que le plastique sans contrainte laisse inchangée la polarisation de la lumière (voir fig. 1, en haut). La situation change en cas de contrainte mécanique du plastique. Par la biréfringence, la lumière est polarisée en général élliptiquement lors de son passage à travers le plastique, c.-à-d. qu'elle reçoit un composant en direction de l'analyseur. Les endroits du modèle en plastique qui sont soumis à la charge sont donc perceptibles sous la forme d'un éclaircissement dans le champ visuel.

Entre les éclaircissements, il reste des franges sombres (isoclines) aux endroits où l'axe optique du modèle en plastique formé localement est par hasard parallèle ou perpendiculaire au polariseur. Les isoclines se déplacent lorsque le polariseur et l'analyseur sont tournés ensemble en position croisée. On trace leur position pour différentes positions du polariseur et on établit à partir de celles-ci les directions des contraintes principales.

Les éclaircissements ont une structure en couleur (isochromates) comme la lumière n'a pas de composant pour toutes les longueurs d'onde dans la direction de l'analyseur. Les parts avec la longueur d'onde

$$\lambda = \frac{d \cdot (n_1 - n_2)}{m} \quad \text{avec } m = 1,2,3 \ldots \qquad \text{(II)}$$

Fig. 1: Représentation schématique de l'étude en optique de polarisation du comportement d'un modèle éclairé avec de la lumière polarisée linéairement (en haut) et avec de la lumière polarisée circulairement (en bas)

Matériel

1 jeu de modèles photoélastiques	471 95
1 paire de filtres polarisants	472 40
1 paire de lames quart-d'onde	472 60
2 lentilles dans monture, f = +150 mm	460 08
1 plateau pour prisme	460 25
1 diaphragme à iris dans monture	460 26
1 Optique à profil normalisé, 1 m	460 32
9 cavaliers, H = 60, l = 36 mm	460 353
1 écran translucide	441 53
1 socle	300 11
1 source lumineuse à halogène 12 V/50 W/100 W	450 64
1 ampoule à halogène 12 V/100 W pour 450 64	450 63
1 passe-vues pour 450 64	450 66
1 transformateur 2 ... 12 V	521 25

Câbles d'expérience

Montage

Le montage expérimental est représenté à la fig. 2, le positionnement du bord gauche des cavaliers sur le banc d'optique étant ici indiquée en cm.

– Monter la source lumineuse à halogène avec l'ampoule 100 W et le miroir réflecteur; enficher le passe-vue avec le filtre anticalorique.
– Monter le diaphragme à iris **(a)** ainsi qu'indiqué et limiter le diamètre de l'ouverture à env. 4 mm.
– A l'aide de la tige d'ajustage et de focalisation de la source lumineuse à halogène (voir mode d'emploi de la source lumineuse à halogène), ajuster le filament chauffant dans la direction du faisceau et perpendiculairement au faisceau de façon à ce qu'il soit projeté sur l'ouverture du diaphragme à iris.
– Placer les lentilles dans la marche du faisceau; si besoin est, déplacer la lentille **(d)** jusqu'à obtention d'une évolution parallèle de la lumière et éclairer la lentille **(f)** le plus exactement possible.
– Monter le plateau pour prisme **(e)** avec un modèle photoélastique; déplacer la lentille **(f)** jusqu'à ce que le modèle soit projeté sur l'écran translucide à la distance voulue.

restent en effet polarisées parallèlement au polariseur et sont annulées dans l'analyseur. On utilise un matériau dont la constante photoélastique est aussi faible que possible et que l'on expose à une lumière monochromatique lorsque l'influence des isochromates doit si possible être évitée.

Eclairage avec de la lumière polarisée circulairement:

Dans un autre montage, le modèle en plastique est éclairé avec de la lumière polarisée circulairement générée par un ensemble constitué d'un polariseur et d'une lame quart-d'onde. Derrière le polariseur, on place une autre lame quart-d'onde – croisée par rapport à la première – et un analyseur. Ici aussi, le champ visuel reste sombre tant que le modèle n'est soumis à aucune charge (voir fig. 1, en bas) et les endroits soumis à une charge se reconnaissent à l'éclaircissement du champ visuel.

Les isoclines sont évitées dans ce dispositif étant donné qu'il n'est tracé aucune direction de la polarisation linéaire. Les isochromates sont maintenant dues au fait que les composantes de lumière de longueur d'onde λ qui répondent à l'équation (II) conservent leur polarisation circulaire et sont supprimées par la deuxième lame quart-d'onde, analyseur compris. En comparant avec (I), on identifie les isochromates comme étant des endroits de même différence de tension principale

$$\sigma_2 - \sigma_1 = m \cdot \frac{\lambda}{C \cdot d} \quad \text{avec } m = 0,1,2 \ldots \qquad \text{(III)}.$$

Plus la différence de tension principale est grande, plus les isochromates surviennent rapprochées les unes des autres. Il suffit de compter les isochromates en partant de l'état sans contrainte ($m = 0$) pour déduire l'importance de la tension. La précision du résultat obtenu peut alors être améliorée par l'emploi de matériaux à constante photoélastique élevée.

Dans l'expérience, les modèles utilisés sont en résine synthétique polyester non saturée d'une grande sensibilité photoélastique. Suite à un traitement thermique, ils sont largement exempts de contraintes mécaniques internes et conservent cet état pendant un certain temps.

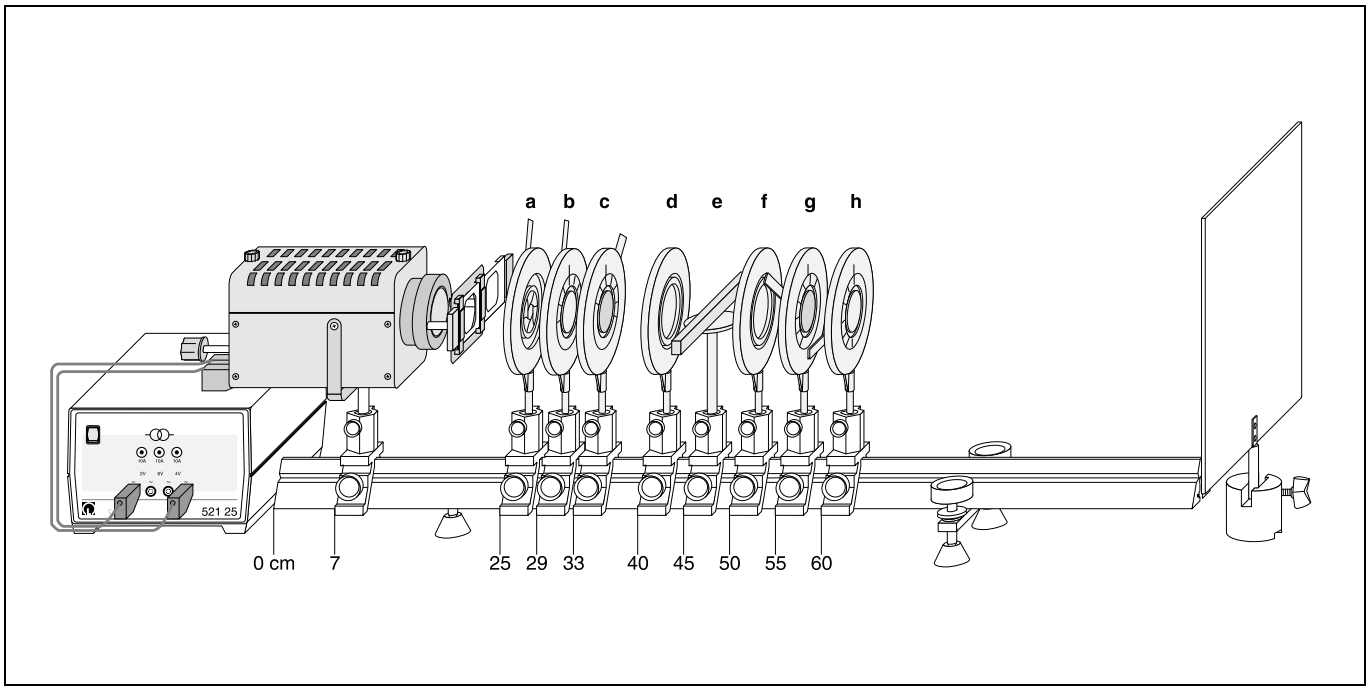
Réalisation

a) Eclairage avec de la lumière polarisée linéairement

– Placer dans la marche des rayons le polariseur **(b)** avec une direction de polarisation $\Psi_P = 45°$ conformément à la position indiquée et l'analyseur **(h)** avec une direction de polarisation $\Psi_A = -45°$ à env. 10 cm de la lentille **(f)**.
– Plier à la main les modèles photoélastiques l'un après l'autre sur le plateau pour prisme tout en observant l'écran (une disposition des modèles est suggérée à la fig. 3).
– Modifier les directions de polarisation du polariseur et de l'analyseur du même angle $\Delta\Psi = 15°$, 30° ou 45° et contrôler le changement sur l'image projetée sur l'écran.

b) Eclairage avec de la lumière polarisée circulairement

– Régler la direction de polarisation du polariseur sur $\Psi_P = 0°$ et celle de l'analyseur sur $\Psi_A = -90°$.
– Placer dans la marche des rayons la lame quart-d'onde **(c)** à l'endroit indiqué et la lame quart-d'onde **(g)** à env. 5 cm de la lentille **(f)**.
– En les faisant tourner, orienter la première lame quart-d'onde sur $\Psi_1 = 45°$, la seconde lame quart-d'onde sur $\Psi_2 = -45°$.
– Plier à la main les modèles photoélastiques l'un après l'autre sur le plateau pour prisme tout en observant l'écran.
– Modifier toutes les orientations du même angle $\Delta\Psi = 15°$, 30° ou 45° et contrôler la variation de l'image projetée sur l'écran.



Résultat

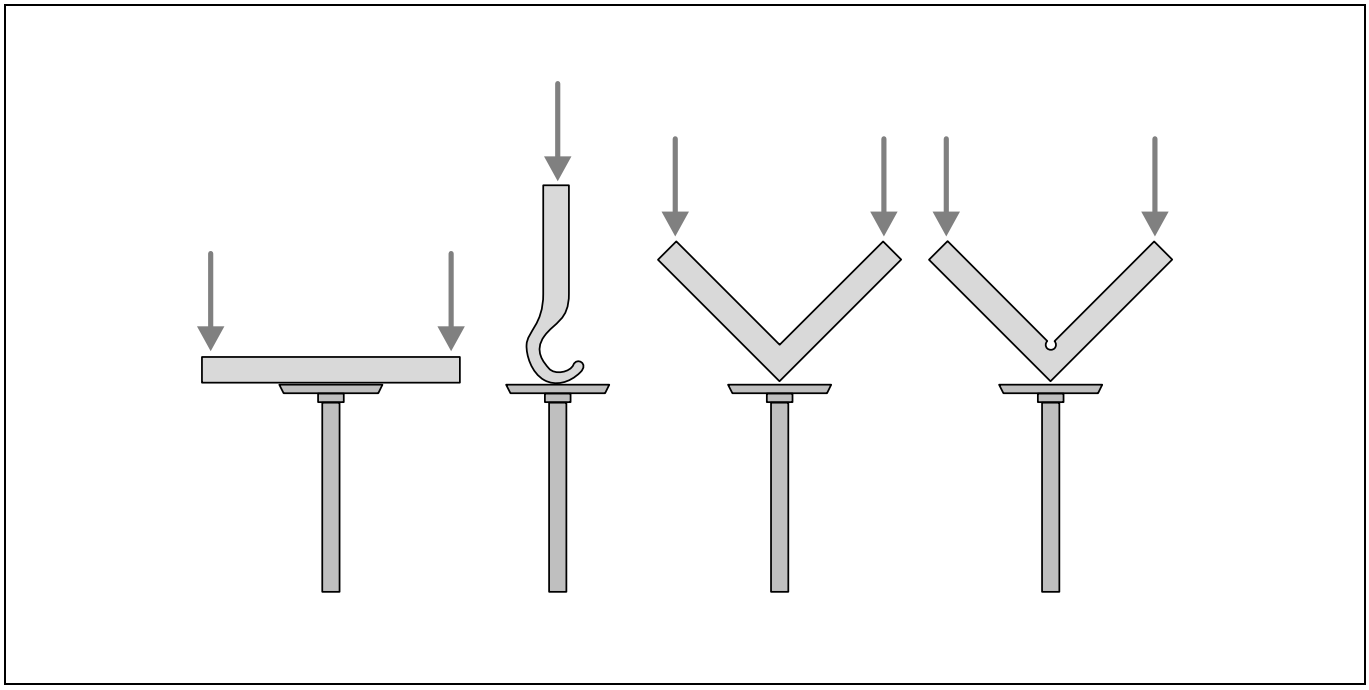
Au fur et à mesure que la charge à laquelle est soumis l'échantillon augmente, les endroits de même contrainte se caractérisent dans le champ visuel par des lignes de même couleur. Il n'est pas possible de différencier l'allongement du refoulement, la fibre neutre reste sombre.

Les isochromates sont fortement marquées étant donné que la sensibilité photoélastique des modèles en plastique est très grande.

En cas d'éclairage avec une lumière polarisée linéairement, des isoclines se superposent aux isochromates. Par rotation de la direction de polarisation, on change toute la répartition des couleurs, ce qui n'est pas le cas pour un éclairage avec de la lumière polarisée circulairement.

Fig. 2 Montage expérimental sur le banc d'optique avec l'indication en cm du positionnement du bord gauche des cavaliers pour banc d'optique
(a) diaphragme à iris
(b) filtre polarisant servant de polariseur
(c) lame quart-d'onde
(d) lentille, f = + 150 mm
(e) plateau pour prisme avec modèle photoélastique
(f) lentille, f = + 150 mm
(g) lame quart-d'onde
(h) filtre polarisant servant d'analyseur

Fig. 3 Proposition de disposition des modèles en plastique pour l'étude de la contrainte mécanique



© by Leybold Didactic GmbH
Printed in the Federal Republic of Germany
Technical alterations reserved